

## ЭЛЕКТРОННЫЕ И ИОННЫЕ ПОТОКИ ЧАСТИЦ В ЭРОЗИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЕ ПРИ ОСАЖДЕНИИ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

В.К. Гончаров, Г.А. Гусаков, М.В. Пузырев

НИИПП им. А.Н. Севченко БГУ, лаборатория лазерной плазмодинамики,  
ул. Курчатова, 7, Минск, 220045, Беларусь, [puzyrev.bsu.by](mailto:puzyrev.bsu.by)

Показана возможность сепарирования продуктов разрушения графитовой мишени при воздействии на нее импульсного лазерного излучения. Найден условия формирования потоков частиц углерода с преимущественным содержанием ионной компоненты.

### Введение

В практических приложениях, особенно при лазерно-плазменном осаждении, необходимо иметь информацию о характеристиках эрозионного факела. Известна существенная роль энергетического спектра ионов при осаждении тонких пленок физическими методами, в частности при лазерно-плазменном осаждении. Очень важной в этих процессах является возможность управления энергетическим спектром ионов, который оказывает существенное влияние на характеристики осаждаемых пленок. Определение энергетических параметров факела (энергетический спектр ионов, электронная температура, плотность), их зависимость от энергии лазерного импульса, пространственная эволюция и угловая зависимость представляют особый интерес при использовании импульсного лазерного осаждения тонких алмазоподобных углеродных пленок. Изменение параметров факела во времени и в процессе его движения от мишени к подложке дают информацию о кинетике различных частиц и скорости их распространения [1].

### Методика эксперимента

Для воздействия на мишень был использован импульсный YAG:Nd<sup>3+</sup> лазер LS-2137 фирмы Lotis-TII с длиной волны  $\lambda = 1064$  нм и длительностью импульса по полувысоте  $\tau = 20$  нс. Мишень устанавливалась под углом 45° к оси лазерного пучка. Измерение проводилось в вакууме при давлении остаточных газов  $\sim 10^{-3}$  Па. Мишень вращалась со скоростью 2 об/мин, чтобы предотвратить образование глубокого кратера на поверхности мишени, что может сказаться на пространственной форме эрозионного факела.

Мишень была изготовлена из высокоориентированного пиролиитического графита марки УПВ1.

В качестве зонда использовалась медленная пластина размером (50x80 мм). Между зондом и мишенью устанавливалась управляющая сетка толщиной проволоки 0.5 и с размером ячейки 2 мм.

Измерение временных параметров факела производилось с помощью осциллографа Tektronix TDS2022B.

### Результаты и их обсуждение

В данной работе исследования эрозионного лазерного факела графитовой мишени производились с помощью зондовых измерений [1]. Общая схема эксперимента изображена на рис. 1.

При воздействии излучения лазерного импульса (1) на мишень (2) с плотностью мощности

$\sim 5.6 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> формируется плазменный факел (3), ось симметрии которого перпендикулярна поверхности мишени. Параллельно поверхности мишени на расстоянии 6 см от ее поверхности расположена сетка (4) после которой продукты разрушения попадают на зонд (подложку), расположенный на расстоянии 12 см от мишени.

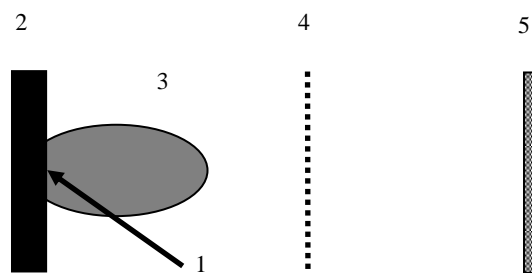


Рис. 1. Общая схема эксперимента:

1 - лазерное излучение; 2 - графитовая мишень; 3 - эрозионный факел; 4 - сетка; 5 - зонд (подложка).

Результаты измерений представлены на рис. 2. В отсутствие сетки сигнал с зонда представлен на рис. 2а. Как видно из рисунка в эрозионном лазерном факеле формируется двойной электрический слой [2]. Первоначально зонд регистрирует быстрые электроны, затем ионы. В конце процесса на зонд поступают медленные электроны остывшей лазерной плазмы. На рис. 2б представлены кривые изменения тока на управляющей сетке (2) и на зонде (подложке) (1) при подаче на сетку по отношению к лазерной мишени положительного потенциала 3 В. Как видно из рисунка, все электроны притягиваются сеткой, и на зонд попадают только ионы. Энергия электронов в этом случае такова, что все электроны притягиваются положительным потенциалом сетки и через сопротивление нагрузки стекают на заземление. При этом энергия ионов такая, что при достижении положительно заряженной сетки они отклоняются от проволоки к центру ячейки, затем несколько замедляются и пролетают через сетку, попадая на зонд.

При увеличении положительного потенциала на управляющей сетке часть ускоренных электронов пролетает через центр ячейки сетки, так как там минимальный потенциал. Их скорость такова, что позволяет по инерции пролетать сетку и продолжать движение к зонду (рис. 2в и г). При этом с увеличением положительного потенциала на управляющей сетке скорость ионов несколько

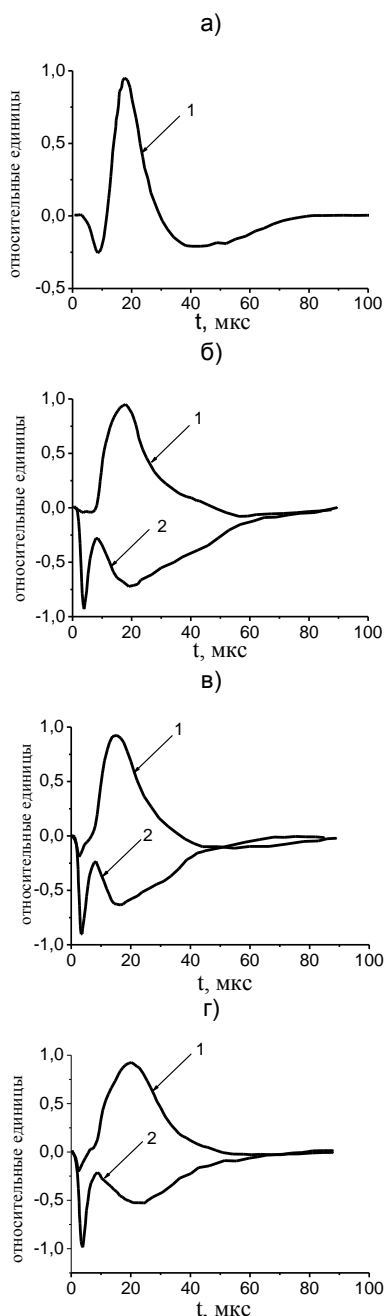


Рис. 2. Зависимость во времени электронной и ион- ной компоненты на подложке (1) и на сетке (2): а) сигнал на подложке без сетки; б) потенциал на сетке 3 В, в) потенциал на сетке 7 В, г) потенциал на сетке 15 В.

замедляется, что можно увидеть на рис. 2б, в, г, как увеличение длительности переднего фронта ионного импульса. Следует заметить, что управляющая сетка и зонд не является изолированными, а соединены через сопротивления утечки с графитовой мишенью. Роль этих сопротивлений двояка: с одной стороны они уводят накопившиеся заряды на земляную шину, с другой стороны являются нагрузочными сопротивлениями, с которых необходимый сигнал снимается на вход осциллографа. С точки зрения нагрузочного сопротивления для увеличения чувствительности измерения оно должно быть максимально. Однако для увеличения спектральной полосы пропускания измеряемого сигнала оно должно быть минимально. Учитывая конкретные условия эксперимента, оно было выбрано 2.2 кОм.

### Заключение

Таким образом, в результате проведенных экспериментов найдены условия сепарирования продуктов лазерной эрозии графитовой мишени, когда на зонд (подложку) поступают только ионы. Для получения необходимой энергии ионов следует установить дополнительную (ускоряющую) сетку с отрицательным потенциалом по отношению к управляющей сетки. Изменяя потенциал ускоряющей сетки, можно получить поток ионов с различной энергией и использовать их для различных технологических задач осаждения пленок, а также травления поверхностей различных материалов.

### Список литературы

1. Новодеворский О.А., Филиппова Е.О., Храмова О.Д., Шевелев А.К., Венцель К., Барта И.В. // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. № 2. С. 159 – 163.
2. Bulgakova N.M., Bulgakov A.V., and Bobrenok O.F. // Physical Review E. 2000. V. 62. № 4. P. 5624-5635.

## ELECTRONIC AND IONIC FLOWS OF PARTICLES IN EROSION LASER PLASMA AT DEPOSITION OF DIAMOND-LIKE CARBON FILMS

V.K. Goncharov, G.A. Gusakov, M.V. Puzyrev

A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of the Belarussian State University,  
7 Kurchatov Str., Minsk, 220045, Belarus, puzyrev@bsu.by

Possibility of the destruction products separation of a graphite target at irradiation by the pulse laser radiation has been shown. Conditions of the carbon particles flow formation with the primary contents of the ionic component have been found.